

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :

H04L 27/26

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/08427

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

18. Februar 1999 (18.02.99)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/02219

(22) Internationales Anmeldedatum: 3. August 1998 (03.08.98)

(30) Prioritätsdaten:

197 33 825.9 5. August 1997 (05.08.97) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STANTCHEV, Branimir  
[BG/DE]; Gerokstrasse 27/1203, D-01307 Dresden (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, KR, US, europäisches Patent  
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen  
eintreffen.

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR COMBINED MEASUREMENT OF THE BEGINNING OF A DATA BLOCK AND CARRIER  
FREQUENCY SHIFT IN A MULTICARRIER TRANSMISSION SYSTEM IN F CLASSES

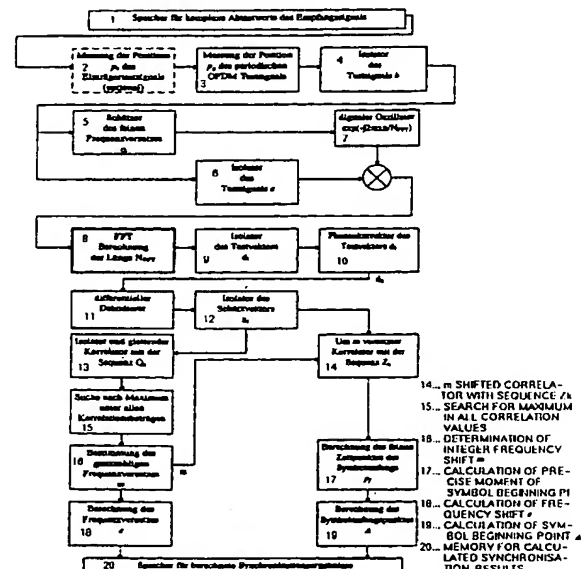
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR KOMBINIERTEN MESSUNG DES ANFANGS EINES DATENBLOCKS  
UND DES TRÄGERFREQUENZVERSATZES IN EINEM MEHRTRÄGERÜBERTRAGUNGSSYSTEM IN F  
KLASSEN

(57) Abstract

The invention relates to a method and a device for determining in a receiver both the beginning of the first symbol and carrier frequency shift during a single reception of a multicarrier signal consisting of a sequence of data signals forming a data block. Determination of the beginning of the symbol regulates the clock rate for demodulation of individual symbols. The estimated carrier frequency shift value is used as an adjustable variable for frequency correction in the receiver during reception and subsequent transmission of data signals. A test signal design rule is specified, enabling combined estimation of the beginning of the first data symbol and carrier frequency shift between the transmitter and the receiver.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur empfängerseitigen Bestimmung des Anfangs vom ersten Symbol und des Trägerfrequenzversatzes beim einmaligen Empfang eines Mehrträgersignals bestehend aus einer Reihenfolge von Datensymbolen, die einen Datenblock bilden. Die Bestimmung des Symbolanfangs regelt den Symboltakt zur Demodulation der einzelnen Symbole. Der Schätzwert des Trägerfrequenzversatzes dient als Stellgröße für eine Frequenzkorrektur im Empfänger sowohl beim Empfangen als auch beim späteren Senden von Datensignalen. Dabei wird ein Testsignal sendeseitig zu einem ungewissen Zeitpunkt zusammen mit einem Datenblock ausgestrahlt und von einer empfängerseitigen Anordnung gesucht und ausgewertet. Es wird eine Konstruktionsregel von Testsignalen angegeben, die die kombinierte Schätzung des Anfangs vom ersten Datensymbol und des Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger ermöglichen.



- 1... MEMORY FOR COMPLEX SCANNING VALUES OF RECEIVED SIGNAL
- 2... MEASUREMENT OF POSITION  $P_0$  OF SINGLE CARRIER TEST SIGNAL (OPTIONAL)
- 3... MEASUREMENT OF POSITION  $P_0$  PERIODIC OF DM TEST SIGNAL
- 4... TEST SIGNAL ISOLATOR
- 5... ESTIMATOR OF FINE FREQUENCY SHIFT  $\Delta$
- 6... TEST SIGNAL  $c$  ISOLATOR
- 7... DIGITAL OSCILLATOR
- 8... FFT CALCULATION OF NFFT LENGTH
- 9... TEST VECTOR  $\hat{c}$  ISOLATOR
- 10... PHASE CORRECTION OF TEST VECTOR  $\hat{c}$
- 11... DIFFERENTIAL DECODER
- 12... ISOLATOR OF ESTIMATE VECTOR  $\hat{z}$
- 13... ISOLATOR AND FLUATING CORRELATOR WITH SEQUENCE  $Q_k$
- 14...  $m$  SHIFTED CORRELATOR WITH SEQUENCE  $\hat{z}$
- 15... SEARCH FOR MAXIMUM IN ALL CORRELATION VALUES
- 16... DETERMINATION OF PRECISE MOMENT OF SYMBOL BEGINNING  $P_1$
- 17... CALCULATION OF FREQUENCY SHIFT  $\Delta$
- 18... CALCULATION OF SYMBOL BEGINNING POINT
- 20... MEMORY FOR CALCULATED SYNCHRONISATION RESULTS

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR KOMBINIERTEN MESSUNG DES ANFANGS EINES DATENBLOCKS UND DES TRÄGERFREQUENZVERSATZES IN EINEM MEHRTRÄGERÜBERTRAGUNGSSYSTEM IN F KLASSEN

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur empfängerseitigen Bestimmung des Anfangs vom ersten Symbol und des Trägerfrequenzversatzes beim einmaligen Empfang eines Mehrträgersignals bestehend aus einer Reihenfolge von Datensymbolen, die einen Datenblock bilden. Die Bestimmung des Symbolanfangs regelt den Symboltakt zur Demodulation der einzelnen Symbole. Der Schätzwert des
- 10 Trägerfrequenzversatzes dient als Stellgröße für eine Frequenzkorrektur im Empfänger sowohl beim Empfangen als auch beim späteren Senden von Datensignalen. Dabei wird ein Testsignal sendeseitig zu einem ungewissen Zeitpunkt zusammen mit einem Datenblock ausgestrahlt und von einer empfängerseitigen Anordnung gesucht und ausgewertet. Es wird eine Konstruktionsregel von Testsignalen angegeben, die die kombinierte Schätzung des
- 15 Anfangs vom ersten Datensymbol und des Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger ermöglichen.

- Die Erfindung ist geeignet für eine vorwärtsarbeitende digitale Synchronisation von drahtlosen oder drahtgebundenen Empfängern, die OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Signale zur Übertragung von einzelnen unregelmäßig ausgesendeten
- 20 Datenblöcken verarbeiten. Die Erfindung betrifft den allgemeinen Fall einer Ein-Schluß-Synchronisation, die für jeden einzelnen Datenblock unabhängig von vorangegangenen oder zukünftigen Synchronisationsversuchen ausgeführt werden kann. Ihre Genauigkeit eignet sich für hochratige OFDM Signale, die für hohe Bandbreiteneffizienz möglicherweise höherwertige Modulation (z.B. 8-DPSK oder 16-QAM) verwenden. OFDM wird derzeit als
- 25 geeignete Modulationstechnik für zukünftige breitbandige multimediale Mobilfunksysteme und breitbandige drahtlose Netze angesehen.

- Die Synchronisation von OFDM Signalen wurde u.a. in einem europäischen Patent: Erfinder Andreas Müller, Anmeldenummer 92113788.1, in F. Classen: "Systemkomponenten für eine terrestrische digitale mobile Breitbandübertragung",
- 30 Dissertation an der RWTH Aachen, Shaker Verlag, Aachen 1996, und in den Konferenzenveröffentlichungen:

- M. Schmidl, D. Cox: "Low-overhead, low-complexity [burst] synchronization for OFDM," Konferenzband, IEEE International Conference on Communications '96, S. 1301- 1306,
- M. Sandell, J. Beek, P. Börjesson, "Timing and frequency synchronization in OFDM systems using the cyclic prefix." Konferenzband, International Symposium on Synchronization, Essen, Deutschland, Dezember 1995, S. 16-19,

behandelt. Einige bisherige Arbeiten über die Synchronisation von OFDM Empfängern schlugen die Aussendung eines zeitlich periodischen Testsignals bestimmter Länge vor, das vom Empfänger nach seiner Periodizität ausgewertet wird und zur Bestimmung des Anfangs eines Datenblocks oder eines eventuellen Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger verwendet wird. Es wurden dabei Verfahren für diese Auswertung sowohl vor als auch nach der Berechnung der für die Demodulation von OFDM Signalen verwendeten Fast Fourier Transformation (FFT) angegeben.

Nachteilig bei bekannten Verfahren und Anordnungen ist es, daß sie jeweils durch mindestens eins der folgenden Merkmale gekennzeichnet sind:

- es wird nur ein Teil der gesamten Synchronisation des Empfängers behandelt, wobei die restliche Synchronisationsaufgaben als ideal abgeschlossen vorausgesetzt werden: ein Beispiel ist die Beschreibung eines Verfahrens zur Schätzung des Trägerfrequenzversatzes wobei eine ideale Symboltaktsynchronisation vorausgesetzt wird
- es wird eine regelmäßige Wiederholung von Testsignalen zur Empfängersynchronisation festgelegt, oder/und es werden Mittelungen über mehrere Synchronisationsabläufe bzw. Testsignale für eine ausreichende Genauigkeit der Synchronisation benötigt; während dieser Ansatz bei Rundfunkanwendungen günstig ist, ist er bei unregelmäßiger Übertragung von Datenblöcken in zwei Übertragungsrichtungen unmöglich oder mit großem Aufwand realisierbar
- die zu realisierenden Rechenoperationen pro Synchronisationsablauf richten sich nicht nach einer minimalen Verarbeitungskomplexität seitens der Hardware.

OFDM ist ein Mehrträgermodulationsverfahren. Das OFDM Sendesignal  $s(t)$  im Basisband besteht aus der zeitlichen Reihenfolge einzelner OFDM Symbolsignale  $g_i(t)$  der Dauer  $T_S$ :

$$s(t) = \sum_i g_i(t - iT_s) \text{ mit}$$

$$g_i(t) = \sum_k S_{i,k} e^{j2\pi k F_A t} b(t), \text{ und dem Basisimpuls} \quad (1)$$

$$b(t) = \begin{cases} 1 & , T_G \leq t \leq T \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

- 5 Der Summationsindex  $i$  stellt den Symboltakt und  $k$  - den Subträger der Frequenz  $kF_A$  dar. Das OFDM Symbolsignal  $g_i(t)$  besteht aus der Superposition von  $M$  (z.B.  $M=49$ ) Subträgern  $e^{j2\pi k F_A t}$ , die unabhängig voneinander durch die komplexen Datensymbole  $S_{i,k}$  moduliert werden. Der Vektor aller Symbole  $S_{i,k}$  für einen festen Symboltaktwert  $i$  wird als Symbolblock  $s_i$  bezeichnet. Die Superposition, auch Modulation genannt, wird digital durch
- 10 eine Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT) der Länge  $N_{FFT}$  realisiert. Es gilt  $N_{FFT} = M$ , wobei  $M$  Eingabewerte der IFFT mit  $S_{i,k}$  identisch sind und die restlichen  $(N_{FFT} - M)$  Eingabewerte mit Null belegt werden. Die Demodulation des OFDM Signals wird durch eine FFT der Länge  $N_{FFT}$  umgesetzt. Weiterhin werden folgende Parameter definiert:

$T$  - genutzte Symboldauer

- 15  $T_G$  - Schutzintervall, das mindestens so lang wie der maximale Echo des Kanals ist

$F_A$  - Subträgerabstand

Es gelten die Relationen  $T_S = T + T_G$  und  $F_A = 1/T$ . Für praktische Anwendungen gilt  $T_G = 0.25T_S$ .

- 20 Ein Datenblock besteht aus einer Reihenfolge von mindestens einem OFDM Symbol  $g_i(t)$ . Dieser wird mit einem Testsignal versehen, das entweder vor dem Datenblock oder mitten im Datenblock steht. Im ersten Fall wird das Testsignal als Präambel, im zweiten Fall - als Midämbel bezeichnet. In einer praktischen Implementierung eines Mehrträgerübertragungssystems gilt die Voraussetzung, daß:

- die zeitliche Eigenschaften des Übertragungskanal während der Dauer des Testsignals
- 25  $2T_S$  näherungsweise konstant sind
- die Frequenzeigenschaften des Übertragungskanal über einen Frequenzabschnitt von mindestens  $2F_A$  näherungsweise konstant sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das, gesteuert durch ein einmalig ausgesendetes Testsignal und mit Rücksicht auf minimalen Verarbeitungsaufwand, den genauen Anfang des ersten Datensymbols und den Trägerfrequenzversatz zwischen Sender und Empfänger in einem mit diesem Testsignal versehenen Datenblock kombiniert bestimmt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe vom Empfänger durch Beobachten des Empfangssignals und mittels der Gesamtheit und der Reihenfolge der in Anspruch 1 genannten Verfahrensschritten gelöst, um dann:

- den OFDM Symboltakt für die Demodulation der einzelnen Subträgersymbole vorzugeben
- eine digitale Frequenzkorrektur anzusteuern
- die Frequenzsynthese im hochfrequenten Teil des Empfängers zu korrigieren.

Der gesamte erfindungsgemäße Verarbeitungsablauf ist in Abb. 1 dargestellt.

- Weiterhin wird die Aufgabe mit einer Anordnung nach Anspruch 10 und Abb. 7 gelöst. Wesentlich an der Lösung ist es, daß mit dem Datenblock ein Mehrträgetestsignal mit periodischem zeitlichem Aufbau gemäß Abb. 3 ausgesendet wird. Die Auswertung des Mehrträgetestsignals erfolgt mittels der Schritte a) bis i) vom Anspruch 1. Die Konstruktion des Mehrträgetestsignals wird in Ansprüchen 4 und 5 angegeben. Dann ist es vorteilhaft, vor dem Mehrträgetestsignal ein Einträgetestsignal gemäß Ansprüchen 2 und 3 auszusenden, um dieses für die Bestimmung des Anfangs vom Datenblock zusätzlich und mit geringem Verarbeitungsaufwand zu nutzen. Die prinzipielle Erzeugung dieses Einträgetestsignals durch das Mehrträgerübertragungssystem ist in Abb. 2 dargestellt. Einzelne Verarbeitungsschritte, die in Abb. 4 bis 6 dargestellt sind, sind in einem Ausführungsbeispiel aufgeschlüsselt.

- Wesentlich an der Lösung ist die optimale Schaltungsreihenfolge aller Verfahrensschritte nach Abb. 1, wobei das Vorhandensein noch unbekannter Parameter die Schätzung eines Parameters (Zeit oder Frequenz) im jeweiligen Schritt nicht behindert. Durch geeignete Isolation von Testsignalen bzw. Testvektoren wird kein Rauschen durch Intersymbolinterferenz (ISI) und Subträgerinterferenz bei der Parameterschätzung verursacht.

Der Hauptvorteil der Erfindung ist die kombinierte Schätzung des Symbolanfangs und des Frequenzversatzes durch einen einzigen Synchronisationsablauf. Vorteilhaft ist die geringe Anzahl an Rechenoperationen für den Synchronisationsablauf, vor allem die Tatsache, daß nur eine einzige FFT für die Synchronisation benötigt wird.

5 Ein Vorteil der Erfindung ist es, daß im Falle einer differentiellen Modulation auf jedem einzelnen Subträger in Zeitrichtung die für Synchronisation erforderliche FFT mittels einer nachfolgenden Phasenkorrektur für jeden nutzbaren Subträger zur Berechnung des ersten OFDM Referenzsymbols im Datenblock verwendbar ist. Nach dieser Phasenkorrektur kann weiterhin eine Kanalschätzung im Frequenzbereich gemacht werden,  
10 die für kohärente Demodulation oder für eine Entzerrung der Subträgersymbole im Frequenzbereich gebraucht wird.

Vorteilhafterweise läßt sich außerdem der ganzzahlige Trägerfrequenzversatz nach dem in Anspruch 6 angegebenen Verfahrensschritt besonders robust bestimmen. Präzise und mit geringem Verarbeitungsaufwand kann auch die feine Schätzung des Anfangs vom  
15 Datenblock im Verfahrensschritt gemäß Anspruch 7 berechnet werden. Deren kleine Übertragungskanalabhängige Ungenauigkeit läßt sich durch eine Maßnahme nach Anspruch 8 kompensieren.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung für drahtlose Anwendungen ist die zeitweise Nutzung einiger OFDM Subträger zur Übertragung eines Einträgertestsignals. Der  
20 Empfänger kann durch geeignetes schmalbandiges Herausfiltern dieses Testsignals und Einträgeroperationen leistungssparend und mit einer kleinen Anzahl von Rechenoperationen pro Zeiteinheit den Symboltakt und den Anfang des Datenblocks bestimmen. Dieser Schritt ist optional und besonders vorteilhaft für die zeitunkritische Anfangssynchronisation von mobilen Endgeräten. Eine entsprechende Skalierbarkeit des OFDM Modems auf  
25 Einträgerarbeitsmodus wird dabei vorausgesetzt.

Anhand der Abbildungen wird das folgende Ausführungsbeispiel beschrieben. Diese zeigen folgende Abläufe und Anordnungen:

30 Abb. 1: Gesamter erfindungsgemäßer Verarbeitungsablauf zur Synchronisation

Abb. 2: Prinzipielle Erzeugung des Einträgertestsignals durch das  
Mehrträgerübertragungssystem



Abb. 3: Zeitlicher Aufbau des Mehrträgertestsignals

Abb. 4: Verarbeitungsablauf zu der Isolation des FFT Eingangsvektors und der digitalen Frequenzkorrektur des feinen Trägerfrequenzversatzes

Abb. 5: Verarbeitungsablauf zur Isolation und Phasenkorrektur eines Testvektors aus den FFT Werten

Abb. 6: Verarbeitungsablauf zur Bestimmung des ganzzahligen Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger

Abb. 7: Schaltungsanordnung zur Ausführung des gesamten erfindungsgemäßen Verarbeitungsablaufes

In einem Ausführungsbeispiel wird das erfindungsgemäße Verfahren in seinen einzelnen Schritten und deren Abhängigkeiten gemäß Abb. 1 näher erläutert. Es wird eine Menge  $I_M$  von IFFT-Indizes definiert, welche die in Gl. (1) definierten Symbole  $S_{t,k}$ ,  $k \in I_M$  enthalten:

$$I_M = \{ N_{\text{FFT}} - (M - \text{int}(M/2) - 1), N_{\text{FFT}} - (M - \text{int}(M/2)), \dots, N_{\text{FFT}} - 2, N_{\text{FFT}} - 1, 0, 1, 2, \dots, \text{int}(M/2) - 1, \text{int}(M/2) \} \quad (2)$$

Mit  $\text{int}(\bullet)$  wird die größte ganze Zahl kleiner oder gleich  $\bullet$  bezeichnet. Das erste Element von  $I_M$  entspricht der niedrigsten Frequenzlage im Spektrum des ausgestrahlten OFDM Signals  $s(t)$ .

In einem ersten Verfahrensschritt wird eine optionale grobe Messung des Anfangs des Datenblocks durch ein Einträgertestsignal durchgeführt.

Das Einträgertestsignal besteht aus einer modulierten komplexen Symbolsequenz  $C_{e,i}$ ,  $i = 0, \dots, L_e - 1$  der Länge  $L_e$  mit einer sehr guten Autokorrelation. Es wird eine Gruppe benachbarter OFDM Subträger für die Dauer von mindestens  $L_e$  OFDM Symbole zur Bildung des Einträgertestsignals verwendet. Mindestens ein Subträger aus dieser Gruppe wird dabei zur Modulation der Symbolsequenz  $C_{e,i}$  verwendet. Die restlichen Subträger dieser Gruppe werden jeweils mit Null belegt, um ein Schutzband in Frequenzrichtung zu dem Rest des OFDM Signals zu bilden. Abb. 2 zeigt die prinzipielle Gruppenstruktur. Im Ausführungsbeispiel wird eine Gruppe von sechs benachbarten Subträgern mit IFFT-Indizes

14, 15, 16, 17, 18, 19 aus einer 128-IFFT betrachtet. Die Umtastung der Subträger 16 und 17 entspricht einer 2-FSK Modulation. In jedem OFDM Symbol wird genau einer dieser Subträger mit Null und der andere mit einem der komplexen Symbole  $C_{e,i}$  belegt. Die Subträger 14, 15, 18, 19 werden jeweils mit Null belegt. Die Erfindung legt eine im Empfänger bekannte Zeit  $t_A > 0$  fest, die zwischen der eventuellen Ausstrahlung des Einträgetestsignals und der nachfolgenden Ausstrahlung des Mehrträgetestsignals liegt.

Mittels des Einträgetestsignals mißt der Empfänger zuerst den Symboltakt des OFDM Signals durch ständiges schmalbandiges Auswerten des/der empfangenen OFDM Subträger, der/die zur Übertragung der Sequenz  $C_{e,i}$  verwendet wird/werden. Dies erfolgt nach bekannten Verfahren, z.B. dem early-late Synchronisationsverfahren im Falle von 2-FSK. Dann erfolgt eine Messung des Ankunftszeitpunktes  $p_e$  der Symbolsequenz  $C_{e,i}$  durch laufende Korrelation. Die Erkennung dieser Sequenz zum Zeitpunkt  $p_e$  ist ein Zeichen dafür, daß das Mehrträgetestsignal zum Zeitpunkt  $(p_e + t_A)$  eintrifft. In einem Zeitfenster um diesen Zeitpunkt muß dann das Messen und Auswerten des Mehrträgetestsignals erfolgen. Dieser erfindungsgemäße Ansatz spart Rechenaufwand beim Synchronisationsablauf mittels des Mehrträgetestsignals zur Bestimmung des Anfangs des Datenblocks, wenn der Empfänger keinerlei Vorkenntnis über den zeitlichen Bezug hat.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird eine grobe Messung des Anfangs des Datenblocks durch ein Mehrträgetestsignal (OFDM Testsignal) durchgeführt.

Das OFDM Testsignal  $a(t)$ ,  $0 \leq t < 2T_G$ , im Basisband besteht aus zwei zusammenhängenden identischen Signalformen  $c(t)$ ,  $0 \leq t < T$ , denen ein gemeinsames Schutzintervall der Dauer  $2T_G$  vorgesetzt wird. Dieses verdoppelte Schutzintervall ist gleich dem Signalabschnitt  $c(t)$  mit  $0 \leq T - 2T_G \leq t < T$ . Die zeitliche Struktur des OFDM Testsignals ist in Abb. 3 dargestellt. Das Signal  $c(t)$  wird folgendermaßen erzeugt:

$$c(t) = \sum_{k \in I_M} C_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0 \leq t < T \quad (3)$$

und digital durch eine IFFT aus dem Symbolblock  $c_I = (C_k \mid k \in I_M)$  berechnet.  $c_I$  enthält eine periodisch erweiterte differentiell kodierte komplexe Trainingssequenz:

$$Q_k, k=0, \dots, L-1 \quad (4)$$

mit konstanter Amplitude und sehr guten zyklischen Autokorrelationseigenschaften dar. Es handelt sich dabei um eine beliebige Folge der endlichen Länge  $L$ , deren zyklische Autokorrelation für gegeneinander verschobene Sequenzen einen kleinen Wert im Vergleich zu  $L$  hat (z.B. den Wert 1). Für eine einfache Signalverarbeitung im Empfänger ist es günstig, eine binäre Folge  $Q_k$  zu verwenden.

Die Folge  $Q_k$  wird auf beiden Seiten um  $\theta$  Symbole periodisch erweitert, wo  $\theta$  den Meßbereich des betragsmäßig maximalen Trägerfrequenzversatz als ganzzahliges Vielfaches von  $L$  festlegt. Es entsteht die Sequenz:

$$Q_k^{(z)} = Q_{(k+L\theta) \bmod L}, \quad k=0, \dots, L-1+2\theta \text{ mit } L+2\theta \leq M-1 \quad (5)$$

Um relativ kleine Amplitudenschwankungen des Signals  $c(t)$  zu bekommen ist es günstig, daß  $L+2\theta$  nicht viel größer als  $L$  und nicht viel kleiner als  $(M-1)$  ist. Es ist möglich  $L+2\theta \approx (M-1)$  zu wählen. Falls  $L+2\theta < (M-1)$  ist es weiterhin günstig, die restlichen  $(M-1-L-2\theta)$  Subträger aus  $I_M$  mit beliebigen komplexen Symbolen gleicher Amplitude zu belegen, so daß die Amplitudenschwankungen von  $c(t)$  klein sind. Dies ist für die Vermeidung von negativen Nichtlinearitätseffekten auf der Übertragungsstrecke besonders vorteilhaft. Zu diesem Zweck wird folgende beliebige und im Empfänger bekannte komplexe Symbolfolge  $X_k$  der Mindestlänge Eins definiert:

$$X_k, k=0, \dots, M_r-1 \text{ mit } M_r = (M-L-2\theta) \quad (6)$$

Weiterhin wird eine Symbolfolge  $Z_k, k=0, \dots, M-2$  folgendermaßen gebildet:

1. Fall:  $(M-1) = L+2\theta$

$$Z_k = \begin{cases} X_{k+1} & , \quad k = 0, \dots, ((M_r - 1) / 2) - 1 \\ Q_{k - \text{int}((M_r - 1) / 2)}^{(z)} & , \quad k = \text{int}((M_r - 1) / 2), \dots, M - 2 - \text{round}((M_r - 1) / 2) \\ X_{k+1-M+M_r} & , \quad k = M - \text{round}((M_r - 1) / 2) - 1, \dots, M - 2 \end{cases} \quad (7)$$

2. Fall:  $(M-1) = L+2\theta$

$$Z_k = Q_k^{(z)}, \quad k = 0, \dots, M-2 \quad (8)$$

Mit  $\text{round}(\bullet)$  wird die kleinste ganze Zahl größer oder gleich  $\bullet$  bezeichnet.

5 Es wird durch differentielle Kodierung von  $Z_k$  eine Symbolfolge  $D_k$ ,  $k=0, \dots, M-1$  gebildet:

$$D_k = \begin{cases} X_0, & k = 0 \\ D_{k-1} Z_{k-1}, & k = 1, \dots, M-1 \end{cases} \quad (9)$$

10 Die Symbole  $D_k$ ,  $k = 0, \dots, M-1$  werden auf die Subträgersymbole  $C_k$ ,  $k \in I_M$  abgebildet. Diese Abbildung erfolgt durch die Relation:

$$C_{[k]} = D_k, \quad k = 0, \dots, M-1 \quad (10)$$

15  $[\bullet]$  bezeichnet dabei das Element aus  $I_M$  mit der Position  $\bullet$ .

Im Ausführungsbeispiel wird eine binäre Folge  $Q_k$  der Länge  $L=35$  für Subträgerzahl  $M=49$  und einen maximalen ganzzahligen Trägerfrequenzversatz von betragsmäßig  $\theta=4$  verwendet. Eine mögliche Symbolfolge  $Z_k$  vor differentieller Kodierung ist in der nachfolgenden Tabelle gemäß Gl. (5) und (7) dargestellt.

K	0	1	2	3	4	5	6*	7	8	9	10	11	12
$Z_k$	$X_1$	$X_2$	1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1

20

K	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$Z_k$	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1

K	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39
$Z_k$	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1

K	40*	41	42	43	44	45	46	47
$Z_k$	-1	1	1	1	1	$X_3$	$X_4$	$X_5$

Mit \* sind die Grenzen der entsprechenden Folge  $Q_k$  gekennzeichnet. Es gilt  $M_r = 6$ . Die Symbole  $X_k$ ,  $k=0, \dots, 5$  werden z.B. mit Rechnersimulation auf minimale zeitliche Schwankungen des Betrags des OFDM Testsignals optimiert.

Die grobe Bestimmung des Anfangs eines Datenblocks durch das Mehrträger-testsignal beruht auf der Tatsache, daß, beim Empfang des Mehrträger-testsignals zum Zeitpunkt Null, dieses Empfangssignal  $a_l(t)$  einen ISI-Anteil für  $0 \leq t < T_G$  und einen ISI-freien Anteil für  $T_G \leq t < 2T_G$  enthält. Im weiteren sei angenommen, daß  $T_G$  durch  $G$  und  $T$  durch  $N$  Abtastwerte im digitalen Empfänger dargestellt wird.

Durch eine Kreuzkorrelation über  $N$  komplexe Abtastwerte zwischen zwei lückenlos empfangenen Signalabschnitten der Gesamtdauer  $2N$  erhält man eine Korrelationsmetrik. Diese Korrelationsmetrik wird für jeden ankommenden Abtastwert neu berechnet. Für einen Zeitabschnitt über mindestens  $G$  Abtastwerte ergibt sich ein fast konstanter Metrikwert. Bei einer laufenden Berechnung der Korrelationsmetrik erfolgt innerhalb dieser  $G$  Abtastwerte die grobe Bestimmung des Anfangs vom Datenblock. In diesem Bereich wird dabei eine Position  $p_g$  desjenigen Abtastwertes als Ergebnis ausgegeben, wo die Korrelationsmetrik unter allen berechneten Metrikwerten innerhalb eines zeitlich bekannten Suchfensters minimal oder maximal ist. Der Wert  $p_g$  dient als grobe Schätzung für die zeitliche Lage des Mehrträger-testsignals im Empfänger. Weil dieses Testsignal eine bekannte Länge hat, bestimmt  $p_g$  auch den groben Anfang des ersten Symbols des Datenblocks. Die Bestimmung des Anfangs vom Datenblock wird im Verfahrensschritt 7 verfeinert.

Im Ausführungsbeispiel wird eine aus einer der angegebenen Quellen bekannte laufende Metrik aus den gespeicherten komplexen Abtastwerten des Empfangssignals  $r(l)$  für jede Abtastzeit  $n$  innerhalb eines Zeitfensters  $[n_1, n_2]$  berechnet:

$$Metrik(n) = \sum_{l=0}^{N-1} \left( |r(n-l)|^2 + |r(n-l-N)|^2 \right) - 2 \left| \sum_{l=0}^{N-1} r(n-l) r^*(n-l-N) \right|, n \in [n_1, n_2]$$

Der Wert  $p_g$  ergibt sich aus:

$$p_s = \min_{n \in [n_1, n_2]} (Metrik(n))$$

unter der Annahme, daß ein Empfangssignal tatsächlich vorliegt (keine Sendepause).  $p_s$  stellt z.B. eine Speicheradresse dar. Alternativ dazu, kann erfindungsgemäß eine

- 5 suboptimale Metrik verwendet werden, die aber sehr recheneffizient realisiert werden kann:

$$Metrik(n) = \left| \sum_{l=0}^{N-1} r(n-l)r^*(n-l-N) \right|^2, \quad p_s = \max_{n \in [n_1, n_2]} (Metrik(n)) \quad (11)$$

In Kombination mit Verstärkungskontrolle im Empfänger (gain control, GC) ist diese Metrik auch bei

- 10 Sendepausen im Suchfenster gut geeignet.

In einem dritten Verfahrensschritt wird eine Isolation eines Testsignals und Schätzung des feinen Trägerfrequenzversatzes, d.h. des Trägerfrequenzversatzes, der betragsmäßig kleiner als der halbe Subträgerabstand ist, durchgeführt.

- 15 Nachdem der Wert  $p_s$  vorliegt, wird aus dem erkannten empfangenen digitalen Mehrträgertestsignal  $a_l(n)$  das Teilsignal:

$$b(n) = a_l(n + p_s + \delta) \text{ für } n = 0, \dots, 2N-1 \quad (12)$$

- 20 isoliert.  $\delta$  ist eine ganze Zahl, die die Position des Vektors  $b(n)$  zusätzlich definiert und auch zu Null gesetzt werden kann. Dieser Verarbeitungsablauf ist vereinfacht in Abb. 4 dargestellt. Die erfindungsgemäße Isolation von  $b(n)$  hat zum Vorteil, daß  $b(n)$  mit großer Wahrscheinlichkeit keine Abtastwerte mit ISI-Anteilen enthält. Vorteilhaft ist weiterhin, daß auch wenn einige wenige Abtastwerte von  $b(n)$  ISI-Rauschen enthalten, trotzdem ein sehr
- 25 genauer Schätzwert für den feinen Frequenzversatz ermittelt werden kann.

Der Schätzwert  $\alpha$  des feinen Trägerfrequenzversatzes wird durch eine Berechnung über  $2K \leq 2N$  Abtastwerte des Signals  $b(n)$  geliefert. Ein aus den angegebenen Quellen bekanntes Verfahren dafür ist:

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{\operatorname{Im} \left( \sum_{n=0}^{K-1} b^*(n) b(n+N) \right)}{\operatorname{Re} \left( \sum_{n=0}^{K-1} b^*(n) b(n+N) \right)} \right), \text{ Re - Realteil, Im - Imaginärteil.} \quad (13)$$

Es gilt die Relation  $\alpha = f_v / f_A$ , wo  $f_v$  der absolute Trägerfrequenzversatz in Hz ist. Der Trägerfrequenzversatz wird normiert auf den Subträgerabstand als Ergebnis berechnet. Vorteilhafterweise liegt die Summe im Zähler und Nenner von Gl. (13) bereits im zweiten Verfahrensschritt vor.

In einem vierten Verfahrensschritt wird eine digitale Frequenzkorrektur des feinen Trägerfrequenzversatzes und Berechnung einer FFT durchgeführt.

Der Schätzwert  $\alpha$  steuert dabei einen digitalen Oszillator, der das Signal  $e^{-j2\pi\alpha n / N_{FFT}}$ ,  $n=0, \dots, N_{FFT}-1$ , erzeugt.  $N_{FFT}$  ist die FFT-Länge für die Demodulation des OFDM Signals. Es gilt  $N = r N_{FFT}$ , wo  $r$  eine positive ganze Zahl ist, die den Überabtastungsfaktor im Empfänger darstellt.

Aus dem Teilsignal  $b(n)$  wird dann ein weiteres Signal:

$$c(n) = b(rn + \gamma), n=0, \dots, N_{FFT}-1, \gamma \text{ beliebige ganze Zahl mit } 0 \leq \gamma < N, \quad (14)$$

isoliert. Dieser Verarbeitungsablauf ist in Abb. 4 dargestellt. Vorteilhaft ist  $\gamma = N/2$  zu setzen. Das Signal  $c(n)$  enthält dank des zeitlichen Versatzes  $\gamma$  nur Abtastwerte aus  $a_I(n)$  ohne ISI-Anteile.

Das Signal  $c(n)$  wird mit dem vom digitalen Oszillator erzeugten Signal multipliziert und dem FFT-Baustein zugeführt. Danach wird eine  $N_{FFT}$ -FFT berechnet. Dieser Verarbeitungsablauf ist in Abb. 4 vereinfacht dargestellt. Die FFT liefert die Werte  $C_k^j$ . Ein Vorteil der Erfindung ist es, daß wegen der Frequenzkorrektur mit dem digitalen Oszillator die FFT Werte  $C_k^j$  kein Rauschen durch Subträgerinterferenz enthalten, was besonders günstig für die weiteren Synchronisationsabläufe ist.

In einem fünften Verfahrensschritt wird eine Isolation und Phasenkorrektur eines Testvektors aus den FFT Werten durchgeführt.

Die Werte  $C_k^l$  unterscheiden sich von den FFT Werten, die aus dem ersten empfangenen OFDM Nettosymbol (Abb. 3) des OFDM Testsignals zum richtigen Zeitpunkt berechnet würden, lediglich durch eine Phasenverschiebung um  $(\varphi_k + 2\pi\gamma k/N_{FFT})$ , wo  $\varphi_k$  der Phasenfehler durch Ungenauigkeit der Schätzung  $p_k$  ist. Es werden nur  $M$  Werte  $C_k^l$  benötigt, nämlich die mit Indizes aus  $I_M$ . Es erfolgt eine Isolation dieser  $M$  FFT Werte um den Vektor  $d_1$  mit den Elementen  $D_k^l$  zu erhalten:

$$d_1 = (D_k^l | k=0, \dots, M-1) = (C_k^l | k \in I_M) \quad (15)$$

Dieser Verarbeitungsablauf ist in Abb. 5 dargestellt. Für die weiteren Synchronisationsabläufe ist es günstig, den Phasenfehler  $2\pi\gamma k/N_{FFT}$  der Symbole  $C_k^l$  zu eliminieren. Jedes dieser Symbole wird deshalb mit  $e^{j2\pi\gamma k/N_{FFT}}$  multipliziert. So entsteht der phasenkorrigierte Vektor  $d_2$  mit den Elementen  $D_k^2$ :

$$d_2 = (D_k^2 | k=0, \dots, M-1) = (C_k^l e^{j2\pi\gamma k/N_{FFT}} | k \in I_M) \quad (16)$$

Dieser Verarbeitungsablauf ist in Abb. 5 auch dargestellt.

Falls erfindungsgemäß  $\gamma = N/2$  gewählt wird, gilt vorteilhafterweise die einfache Multiplikation:

$$d_2 = (C_k^l (-1)^k | k \in I_M).$$

In einem sechsten Verfahrensschritt wird eine Isolation eines Testvektors und Schätzung des ganzzahligen Trägerfrequenzversatzes, d.h. des Trägerfrequenzversatzes, der betragsmäßig ein Vielfaches des Subträgerabstandes ist, durchgeführt.

Es wird dabei ein Schätzvektor  $z_1$ , bestehend aus der komplexen Symbolfolge  $Z_k^l$ , durch die differentielle Dekodierung von  $D_k^2$  gebildet:

$$z_1 = (Z_k^l = \text{conj}(D_k^2) D_{k+1}^2 | k=0, \dots, M-2) \quad (17)$$

wo  $\text{conj}(\bullet)$  der konjugiert komplexe Wert von  $\bullet$  bezeichnet.



Zur Schätzung des ganzzahligen Trägerfrequenzversatzes wird nun im Schätzvektor die Position der Trainingsequenz  $Q_k$  gesucht. Deren Anfang  $k_0$  liegt ohne ganzzahligen Frequenzversatz bei:

$$5 \quad k_0 = \text{int}((M_r-1)/2) + 2\theta \quad (18)$$

Die erfindungsgemäße Lösung bestimmt den ganzzahligen Trägerfrequenzversatz zwischen Sender und Empfänger indem  $(2\theta+1)$  Korrelationen  $M_i$ ,  $i = -\theta, -\theta+1, \dots, \theta-1, \theta$  nach dem folgenden Verfahren berechnet werden:

$$10 \quad M_i = \sum_{l=0}^{L-1} Z_{l, k_0+i}^1 \text{conj}(Q_l), \quad i = -\theta, \dots, \theta \quad (19)$$

Der ganzzahlige Frequenzversatz  $m$  wird gleich dem Wert  $i$ , der dem maximalen Korrelationsbetrag  $|M_i|$  entspricht, gesetzt:

$$15 \quad m = \max_{i \in \{-\theta, \dots, \theta\}} (|M_i|) \quad (20)$$

Dieser Verarbeitungsablauf ist in Abb. 6 dargestellt.

20 In einem siebenten Verfahrensschritt wird eine Isolation eines Testvektors und Schätzung des verbleibenden Zeitversatzes zum richtigen Anfang des Datenblocks, d.h. feine Schätzung des Anfangs des OFDM Datenblocks, durchgeführt.

Die erfindungsgemäße feine Schätzung des Symbolanfangs vom ersten Datensymbol erfolgt nach Kenntnis von  $m$  gemäß dem Verfahren:

$$25 \quad p_f = \frac{N_{FFT}}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im} \left( \sum_{l=0}^{M-2} Z_{l+m}^1 \text{conj}(Z_l) \right)}{\text{Re} \left( \sum_{l=0}^{M-2} Z_{l+m}^1 \text{conj}(Z_l) \right)} \right), \quad \text{wo } Z_k^1 = 0 \text{ für } k < 0 \text{ und } k > (M-2) \text{ gesetzt wird} \quad (21)$$

Der Ansatz für diesen Verarbeitungsablauf ist in Abb. 6 dargestellt. Die Schätzung  $p_j$  besitzt eine vom Kanal abhängige geringe Ungenauigkeit  $\lambda > 0$ , die durch entsprechende sendeseitige Verlängerung des Schutzintervalls  $T_G$  kompensiert wird.

- 5 In einem achten Verfahrensschritt wird eine Berechnung des Anfangs des ersten OFDM Datensymbols anhand der Ergebnisse vom Schritt 2 und 7 durchgeführt.

Der exakte Anfang  $\Delta$  des ersten OFDM Symbols des empfangenen Datenblocks ergibt sich erfindungsgemäß durch die korrigierte Addition von  $p_g$  und  $p_f$ :

$$10 \quad \Delta = p_g + r(p_f + 2N_{FFT} - \lambda) \quad (22)$$

wo  $\text{int}(\Delta)$  als Adresse im Speicher für komplexe Abtastwerte des Empfangssignals verwendet wird und auf die exakte Position vom ersten Abtastwert des ersten Datensymbols des Datenblocks zeigt. Der Wert  $\Delta$  kann auch als Regelgröße zur Steuerung des

- 15 Abtasttaktes der Analog-Digital-Wandler im Empfänger dienen.

In einem neunten Verfahrensschritt wird eine Berechnung des Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger anhand der Ergebnisse vom Schritt 3 und 6 durchgeführt.

- 20 Der gesamte auf den Subträgerabstand normierte Trägerfrequenzversatz  $\varepsilon$  zwischen Sender und Empfänger ergibt sich erfindungsgemäß durch die Addition von  $m$  und  $\alpha$ :

$$\varepsilon = m + \alpha \quad (23)$$

- 25 Dieser Schätzwert wird für eine digitale Frequenzkorrektur oder eine Nachregelung der Frequenzsynthese im Empfänger verwendet.

Der gesamte erfindungsgemäße Verarbeitungsablauf mit der Reihenfolge der einzelnen Verfahrensschritte ist in Abb. 1 dargestellt. Die entsprechende Anordnung ist in Abb. 7

- 30 dargestellt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Empfang eines Mehrträgersignals, insbesondere für eine einmalige Übertragung eines Datenblocks, wobei ein Mehrträgetestsignal mit periodischem zeitlichem Aufbau zusammen mit dem Datenblock ausgesendet wird, und dieses Mehrträgetestsignal zur kombinierten Messung vom Anfang des ersten Datensymbol des Datenblocks und von einem eventuellen Trägerfrequenzversatz zwischen Sender und Empfänger nach der Gesamtheit folgender nacheinander ausgeführter Verfahrensschritte in einem digitalen Empfänger verwendet wird:
  - 5 a) grobe Messung vom Anfang des Datenblocks durch die Auswertung des Mehrträgetestsignals, ohne daß eine FFT dabei berechnet wird
  - b) Bestimmung des eventuell vorhandenen feinen Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger durch die Isolation und Auswertung eines Teils des periodischen Mehrträgetestsignals, ohne daß eine FFT dabei berechnet wird
  - 15 c) Isolation und digitale Frequenzkorrektur von  $N_{FFT}$  Abtastwerten aus dem periodischen Mehrträgetestsignal und Berechnung einer FFT der Länge  $N_{FFT}$  aus diesen Werten
  - d) Isolation und eventuell Phasenkorrektur eines Testvektors  $d_1$  der Länge  $M < N_{FFT}$  aus den berechneten FFT Werten
  - e) Berechnung eines Testvektors  $z_1$  der Länge  $(M-1)$  durch differentielle Dekodierung des eventuell phasenkorrigierten Testvektors  $d_1$
  - 20 f) Messung von einem eventuellen vorhandenen ganzzahligen Trägerfrequenzversatz zwischen Sender und Empfänger mit Maximalwert von betragsmäßig  $\theta$  Subträgerabständen durch Isolation von zumindest  $(L+2\theta)$  Werten aus  $z_1$  und Durchführung von  $(2\theta+1)$  Korrelationen mit einer zugrunde liegenden bekannten Trainingsequenz  $Q_k$  der Länge  $L$
  - 25 g) feine Messung vom Anfang des Datenblocks zumindest durch Korrelation des Testvektors  $z_1$  mit einer zugrunde liegenden bekannten Trainingsequenz der Maximallänge  $(M-1)$ , die  $Q_k$  als Teilsequenz enthält
  - h) exakte Bestimmung vom Anfang des ersten Datensymbols im Datenblock durch Kombination der Ergebnisse nach a) und g) gemäß Gl. (22).
  - 30 i) exakte Bestimmung des gesamten Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger durch Kombination der Messungen nach b) und f) gemäß Gl. (23).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die grobe Messung vom Anfang des Datenblocks zusätzlich und zuerst durch die Auswertung eines Einträgertestsignals erfolgt, wobei das Einträgertestsignal vor dem Mehrträgertestsignal im Abstand von einer im Empfänger bekannten Zeit  $t_A$  abgestrahlt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Einträgertestsignal durch eine Gruppe benachbarter Subträger des Mehrträgerübertragungssystems erzeugt wird, wobei mindestens ein Subträger dieser Gruppe zur Übertragung einer im Empfänger bekannten komplexen Symbolfolge endlicher Länge dient und die anderen Subträger mit Null zwecks Frequenztrennung belegt sind.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Mehrträgertestsignal ein Symbolblock  $c_i$  mit der Länge  $M$  differentiell kodierter Symbole, zugeordnet wird, so daß:
- a)  $c_i$  in einem zusammenhängenden Abschnitt die beidseitig periodisch erweiterte Trainingssequenz  $Q_k$  konstanter Amplitude mit der Länge  $L$  und sehr guter periodischer Autokorrelation enthält
  - b) die Länge der periodischen Erweiterung auf jeder Seite der Trainingssequenz gleich mindestens dem betragsmäßig größtmöglichen ganzzahligen Trägerfrequenzversatz  $\theta$  zwischen Sender und Empfänger ist
  - c)  $c_i$ , auch eine zweite Trainingsequenz, bestehend aus beliebigen Symbolen der gleichen konstanten Amplitude, enthalten kann, die die periodisch erweiterte Trainingssequenz  $Q_k$  beidseitig umrandet
5. Verfahren nach Anspruch 4 zur Erzeugung eines Mehrträgertestsignals, dadurch gekennzeichnet, daß:
- a) der Symbolblock  $c_i$  durch eine IFFT verarbeitet wird
  - b) der IFFT Ausgangsvektor durch periodische Wiederholung auf die doppelte Länge fortgesetzt wird
  - c) das in b) gewonnene periodische Signal mit einem Schutzintervall als Vorsatz versehen wird, wobei das Schutzintervall eine Kopie vom Endeteil dieses Signals darstellt und die

doppelt so lang ist wie das Schutzintervall  $T_G$  in jedem Datensymbol des Mehrträgerübertragungssystems

- 5 6. Verfahren nach Anspruch 1 f) und 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des ganzzahligen Trägerfrequenzversatzes zwischen Sender und Empfänger nach der Berechnung einer FFT und durch folgende Verfahrensschritte erfolgt:
- a) bei jeder der  $(2\theta+1)$  Korrelationen wird ein Vektorabschnitt der Länge  $L$  aus dem Testvektor  $z_1$  isoliert und mit der konjugiert komplexen Trainingssequenz  $Q_k$  elementweise multipliziert
  - 10 b) das erste Element des Vektorabschnittes für die erste Korrelation hat die Position  $(k_0 - \theta)$ , wo  $k_0$  der Position des ersten Symbols von  $Q_k$  im Symbolblock  $c_1$  des Mehrträgertestsignal entspricht
  - c) die isolierten Vektorabschnitte zweier aufeinanderfolgende Korrelationen überlappen sich um jeweils  $(L-1)$  Elemente
  - 15 d) aus den berechneten  $(2\theta+1)$  Korrelationsergebnissen, wird dasjenige mit dem maximalen Betrag bestimmt
  - e) die ganzzahlige Abweichung von  $k_0$  der Anfangsposition des Vektorabschnittes, der das Korrelationsergebnis mit dem maximalen Betrag liefert, wird zur Bestimmung des ganzzahligen Trägerfrequenzversatzes verwendet
- 20
7. Verfahren nach Anspruch 1 g), 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die feine Bestimmung des Anfangs des Datenblocks nach der Berechnung einer FFT, durch eine Korrelation des Testvektors  $z_1$  mit dem um einen eventuell festgestellten ganzzahligen Versatz verschobenen, differentiell dekodierten und nachfolgend komplex konjugierten
- 25 Symbolblock  $c_1$ , und durch Berechnung des Winkels des so gewonnenen Korrelationsergebnisses durchgeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das benötigte Schutzintervall in jedem Symbolsignal des Mehrträgerübertragungssystems um mindestens die
- 30 Ungenauigkeit der feinen Bestimmung des Anfangs des Datenblocks sendeseitig verlängert wird.

9. Ein Verfahren nach Anspruch 1 a) und 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Abtastwert des Empfangssignals innerhalb einer endlichen Anzahl von Abtastwerten eine Metrik gemäß Gl. (11) berechnet wird, und nach Empfang aller dieser Abtastwerte die maximale aller berechneten Metriken zur groben Bestimmung des Anfangs vom Datenblock verwendet wird.
10. Eine Anordnung für ein Verfahren nach den obengenannten Ansprüchen, die zumindest aus einer Vorrichtung zur Berechnung der FFT, einem Speicher für FFT Werte und Ergebnisse der Verarbeitungsabläufe, einem komplexen Multiplizierer/Addierer, mindestens je einer Vorrichtung zur Berechnung von  $\tan^{-1}$ , Wurzelberechnung und digitale Frequenzsynthese und mindestens je einer Vorrichtung zur Isolation, differentieller Dekodierung und Korrelation für die jeweilige Testsequenz besteht, sowie eventuell zumindest einem komplexen Vektormultiplizierer und einem komplexen Vektoraddierer, und die folgende Schaltungsstruktur gemäß Abb. 7 aufweist:
- 10.1 Mehrfache Nutzung eines und desselben Bausteins in unterschiedlichen Verfahrensschritten ist vorgesehen
- 10.2 Ein Multiplizierer für jeweils zwei komplexe Abtastwerte  $r(l)$  und  $r(l-N)$  des Empfangssignals ist an mindestens einen FIFO (First-In-First-Out) Speicher  $FI$  geschaltet
- 10.3 Ein Akkumulator  $AI$  erhält Eingabewerte aus zumindest dem Eingang und dem negierten Ausgang des FIFO Speichers  $FI$  und schreibt die berechneten Ergebnisse in einen Speicher  $SI$ .
- 10.4 Eine Vorrichtung  $VI$  zur Wurzelberechnung oder Berechnung vom Betragsquadrat ist an den Akkumulator  $AI$  geschaltet
- 10.5 Eine Recheneinheit für Berechnung von Metriken der zeitlichen Synchronisation erhält Eingabewerte aus zumindest der Vorrichtung  $VI$  und schreibt die berechneten Metriken in einen Metrikspeicher  $MS$
- 10.6 Eine Vorrichtung zur Suche nach Maximal- oder Minimalwert ist an den Speicher  $MS$  geschaltet, adressiert den Speicher  $SI$  und steuert zumindest eine Vorrichtung zur Berechnung von  $\tan^{-1}$ , die an den Speicher  $SI$  geschaltet ist, sowie einen Isolator  $II$  von einem Testsignal

- 10.7 Eine Vorrichtung für die Vektormultiplikation vom Testsignal aus dem Isolators *I1* mit der Ausgabe einer Vorrichtung zur digitalen Frequenzsynthese - die letzte von einer Vorrichtung zur Berechnung von  $\tan^{-1}$  eingespeist - liefert Eingabewerte für die FFT Vorrichtung
- 5 10.8 Der Speicher *S2* für FFT Werte ist an einen Isolator *I2* von einem Testvektor geschaltet
- 10.9 Eine Vorrichtung zur Vektormultiplikation vom Testvektor des Isolators *I2* mit der Ausgabe eines ROM (Read Only Memory) ist an eine Vorrichtung zur differentiellen Dekodierung geschaltet, deren Ergebnisse in einen Speicher *S3*
- 10 geschrieben werden.
- 10.10 Der Speicher *S3* ist an einen Isolator *I3* geschaltet, der Testvektoren für die Korrelationen mit einer Trainingsequenz  $Q_k$  vorbereitet. Der Ausgang vom Isolator *I3* ist an eine Vorrichtung zur Vektormultiplikation mit einem ROM
- 15 Trainingsvektor, bestehend aus den Werten  $\text{conj}(Q_k)$ , geschaltet. Die Norm der berechneten Vektoren wird aus einer Vorrichtung zur Betragsbildung in einen Speicher *S4* geschrieben.
- 10.11 Eine Vorrichtung für Suche nach Maximalwert ist an den Speicher *S4* und an eine Recheneinheit *R2* zur Berechnung des exakten Trägerfrequenzversatzes  $\varepsilon$  geschaltet.
- 20 10.12 Eine vom berechneten ganzzahligen Trägerfrequenzversatz gesteuerte Vorrichtung zur Vektormultiplikation ist an einen Isolator *I4* von einem Testvektor aus dem Speicher *S3* sowie an einen ROM für eine Trainingsequenz  $\text{conj}(Z_k)$  geschaltet, und der berechnete Vektor wird elementweise aufsummiert und einer Vorrichtung zur Berechnung von  $\tan^{-1}$  zugeführt, deren Ausgang an eine Recheneinheit *R1* zur
- 25 Berechnung der exakten Position  $\Delta$  des ersten OFDM Symbols vom Datenblock geschaltet ist.
- 10.13 Die Recheneinheiten *R1* und *R2* bestehen aus mindestens einem reellen Multiplizierer mit einer Konstante sowie einem reellen Addierer und schreiben ihre Ergebnisse in einen Speicher für Ergebnisse der Synchronisation.

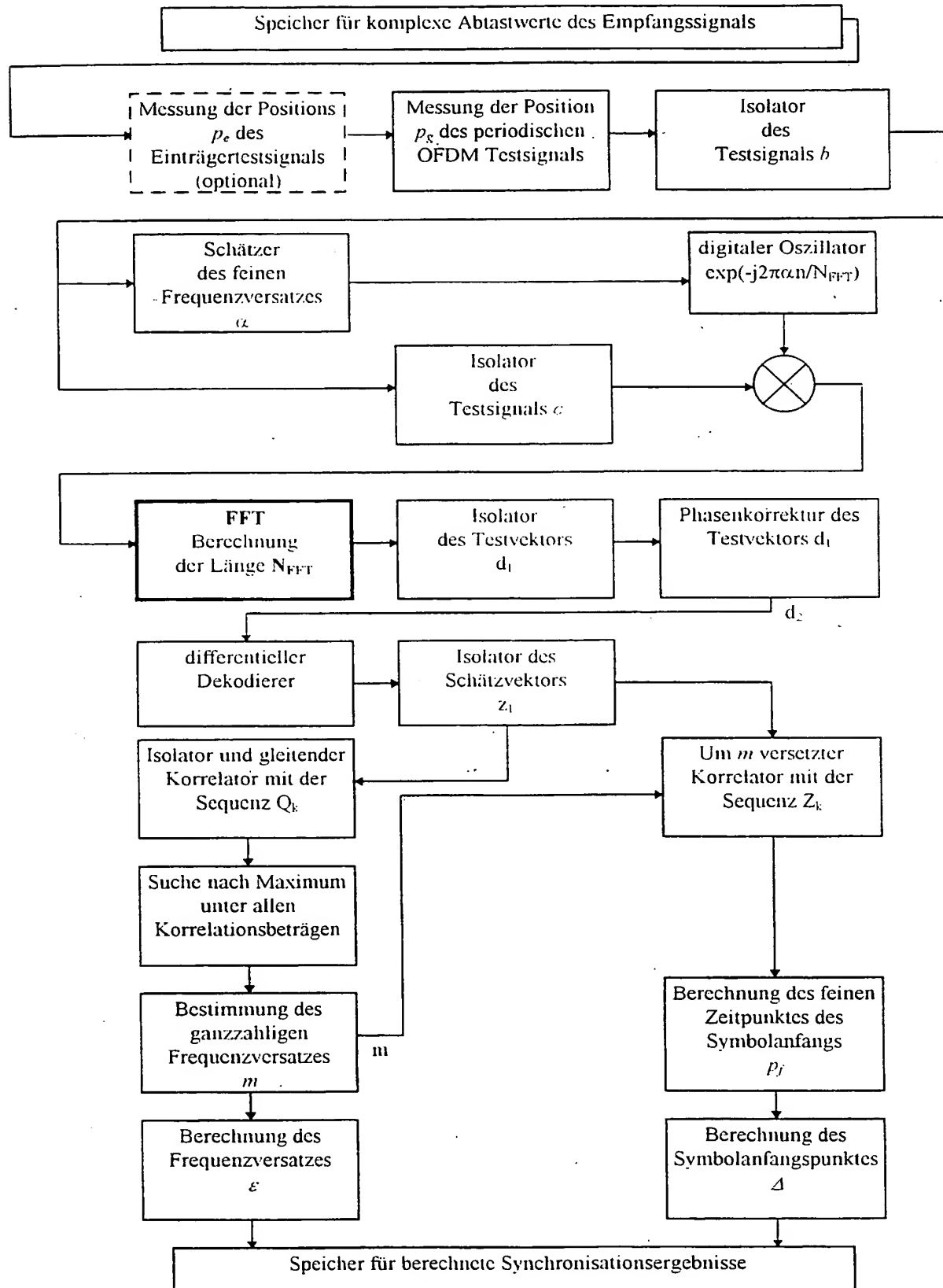
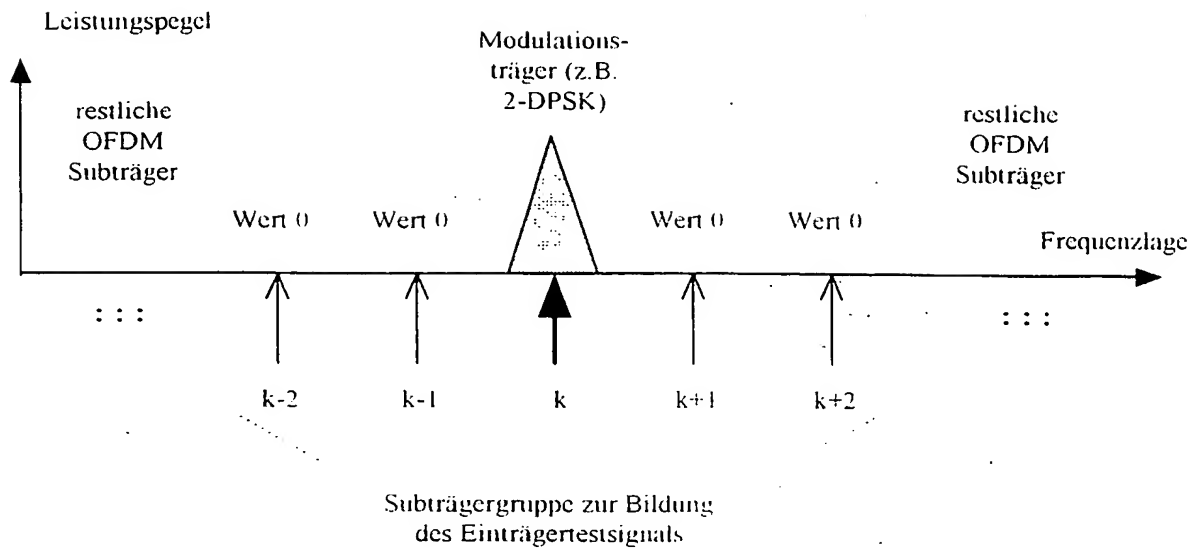


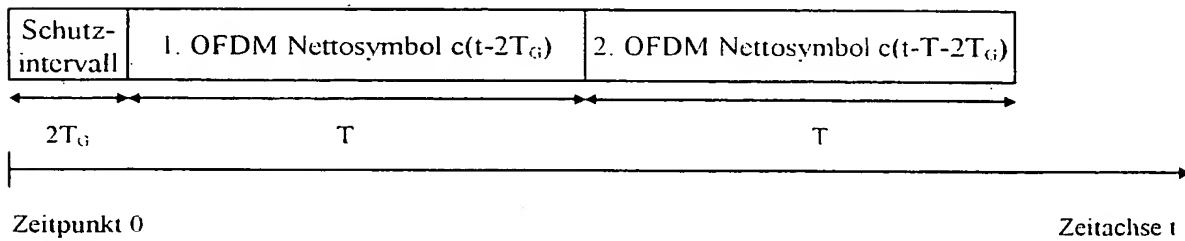
Abb. 1





**Abb. 2**

Testsignal a(t)



**Abb. 3**

3/6

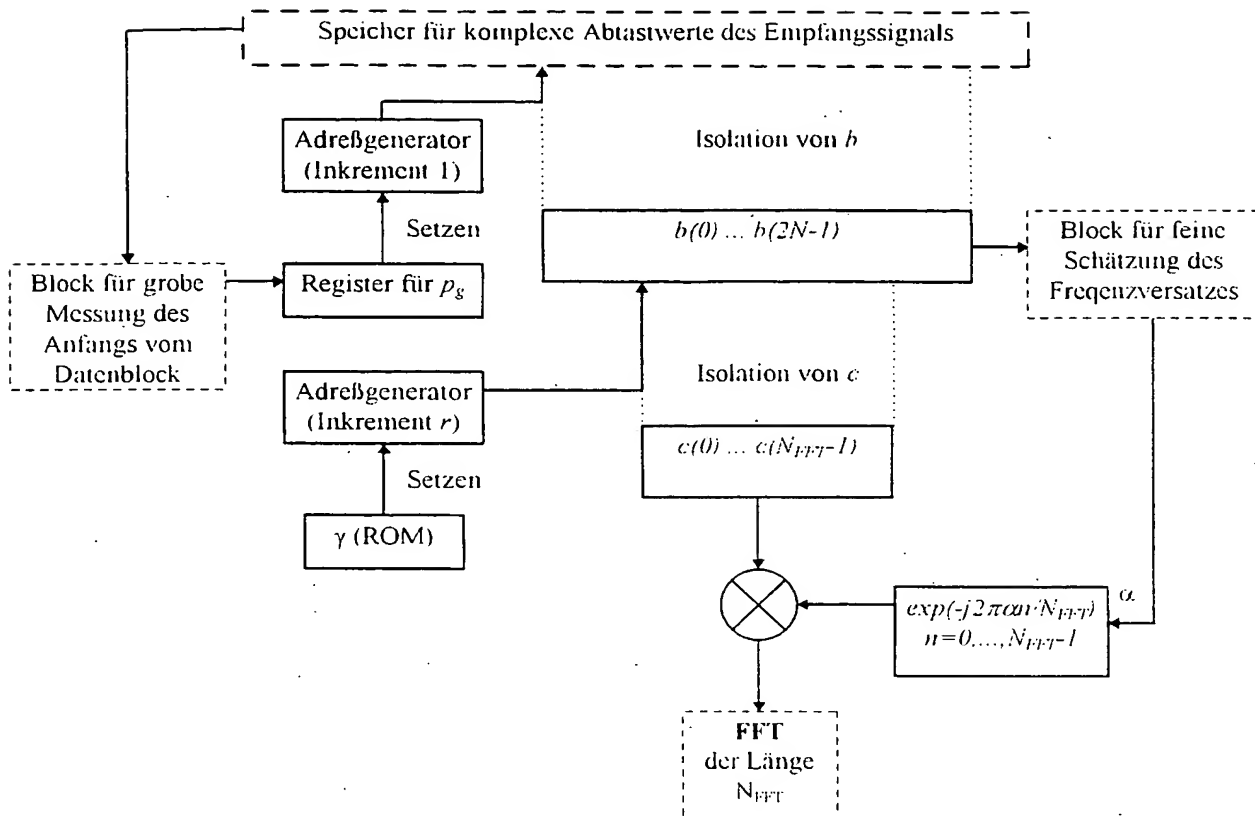


Abb. 4

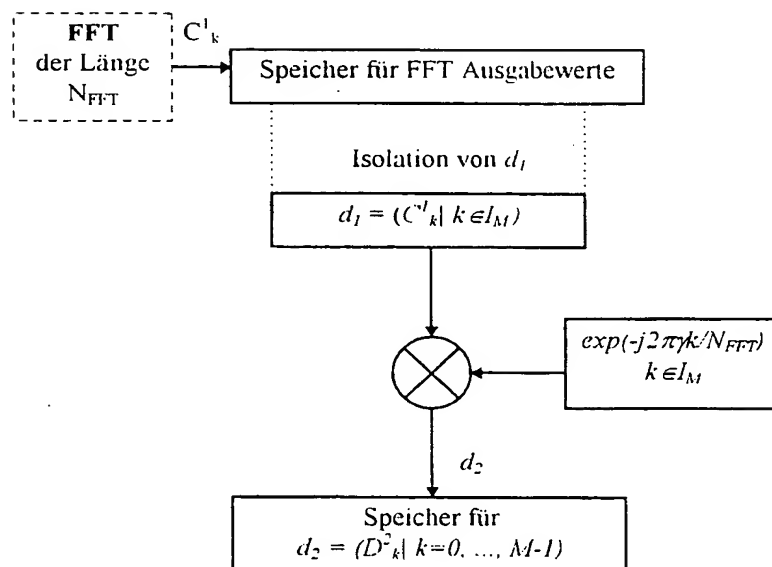


Abb. 5

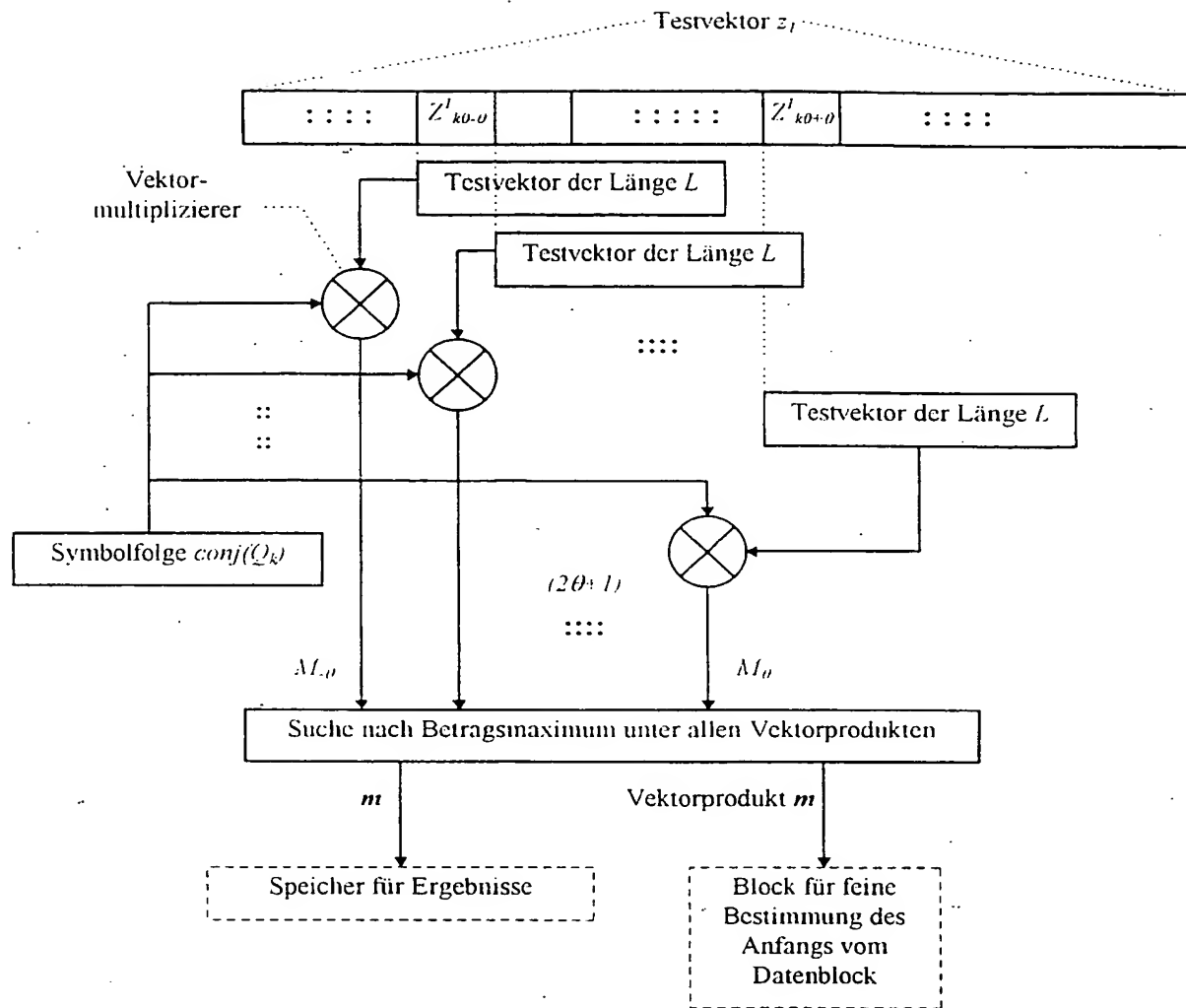


Abb. 6

5/6

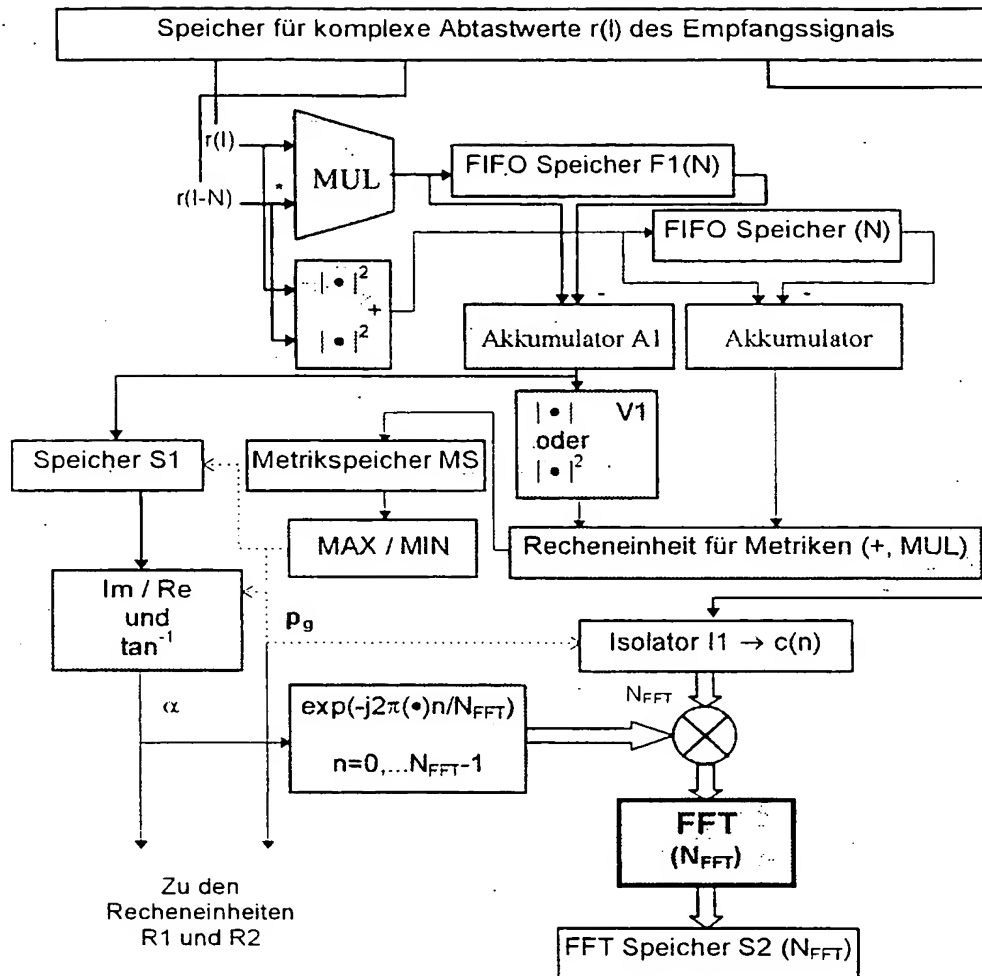
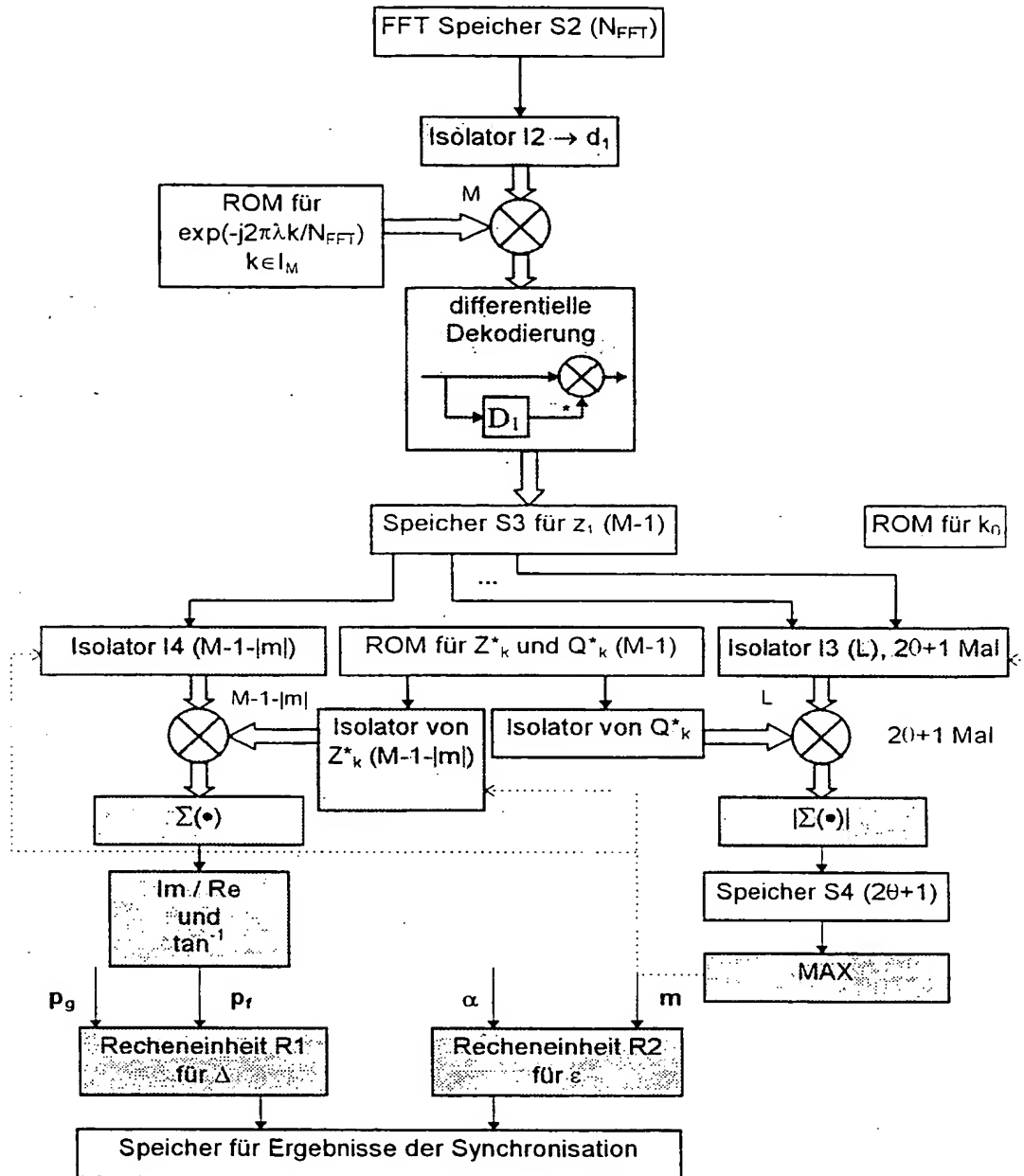


Abb. 7

6/6



Legende:

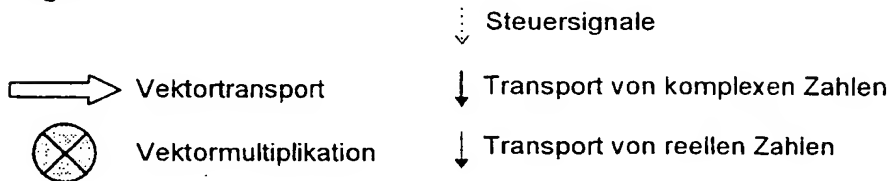


Abb. 7 (fortgesetzt)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/02219

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H04L27/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 307 155 A (BRITISH BROADCASTING CORP) 14 May 1997 see page 2, line 5-14 see page 37, line 10-20 see paragraph 7 see figure 11	1-10
A	EP 0 529 421 A (DAIMLER BENZ AG) 3 March 1993 cited in the application see the whole document -/--	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 January 1999

Date of mailing of the international search report

20/01/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Toumpoulidis, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/02219

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SCHMIDL T M ET AL: "LOW-OVERHEAD, LOW-COMPLEXITY BURST SYNCHRONIZATION FOR OFDM" 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC), CONVERGING TECHNOLOGIES FOR TOMORROW'S APPLICATIONS DALLAS, JUNE 23 - 27, 1996, vol. 3, 23 June 1996, pages 1301-1306, XP000625022 IEEE, New York, US cited in the application see paragraph 3	1-10
P, X	STANTCHEV B ET AL: "Burst synchronization for OFDM-based cellular systems with separate signaling channel" VTC '98. 48TH IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE. PATHWAY TO A GLOBAL WIRELESS REVOLUTION (CAT. NO.98CH36151), VTC '98. 48TH IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE. PATHWAY TO A GLOBAL WIRELESS REVOLUTION, OTTAWA, ONT., CANADA, 18-21 MAY 1998, pages 758-762 vol.2. XP002089525 ISBN 0-7803-4320-4, 1998, IEEE, New York, US see paragraph IIB see paragraph IV see paragraph V see figures 1-3	1-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/02219

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
GB 2307155	A	14-05-1997	EP	0772332 A	07-05-1997
<hr/>					
EP 0529421	A	03-03-1993	DE	4128713 A	04-03-1993
			AT	172590 T	15-11-1998
			DE	59209533 D	26-11-1998
<hr/>					



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/02219

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H04L27/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB 2 307 155 A (BRITISH BROADCASTING CORP) 14. Mai 1997 siehe Seite 2, Zeile 5-14 siehe Seite 37, Zeile 10-20 siehe Absatz 7 siehe Abbildung 11	1-10
A	EP 0 529 421 A (DAIMLER BENZ AG) 3. März 1993 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1-10

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

8. Januar 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/01/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Toumpoulidis, T

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHMIDL T M ET AL: "LOW-OVERHEAD, LOW-COMPLEXITY BURST SYNCHRONIZATION FOR OFDM"</p> <p>1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS (ICC), CONVERGING TECHNOLOGIES FOR TOMORROW'S APPLICATIONS DALLAS, JUNE 23 - 27, 1996, Bd. 3, 23. Juni 1996, Seiten 1301-1306, XP000625022</p> <p>IEEE, New York, US</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>siehe Absatz 3</p> <p>---</p>	1-10
P,X	<p>STANTCHEV B ET AL: "Burst synchronization for OFDM-based cellular systems with separate signaling channel"</p> <p>VTC '98. 48TH IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE. PATHWAY TO A GLOBAL WIRELESS REVOLUTION (CAT. NO.98CH36151), VTC '98. 48TH IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE. PATHWAY TO A GLOBAL WIRELESS REVOLUTION, OTTAWA, ONT., CANADA, 18-21 MAY 1998, Seiten 758-762 vol.2, XP002089525</p> <p>ISBN 0-7803-4320-4, 1998, IEEE, New York, US</p> <p>siehe Absatz IIB</p> <p>siehe Absatz IV</p> <p>siehe Absatz V</p> <p>siehe Abbildungen 1-3</p> <p>-----</p>	1-10

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

A. haben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/02219

Im Recherchenbericht angegebenes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
GB 2307155	A	14-05-1997	EP	0772332 A	07-05-1997
EP 0529421	A	03-03-1993	DE	4128713 A	04-03-1993
			AT	172590 T	15-11-1998
			DE	59209533 D	26-11-1998